

# **ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ «АЛЮМИНИЙ – УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ»**

*Лаптев И.С.*

*Руководитель – Огнев А.Ю.*

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск

e-mail: ilya\_laptev\_nstu@mail.ru

Развитие авангардных отраслей промышленности во многом обуславливается внедрением материалов с улучшенными физико-механическими свойствами. Одним из способов повышения механических характеристик уже известных материалов является введение высокопрочных армирующих элементов различной морфологии. В число таких элементов входят тонкодисперсные частицы тугоплавких карбидов, оксидов, нитридов, бездефектные нитевидные кристаллы (вискеры), борные и углеродные волокна и т.п. Открытие в 1991 г. углеродных нанотрубок (УНТ) вызвало большое количество исследований, посвященных свойствам и применению этой модификации углерода в широком спектре областей науки и промышленности. Выдающиеся механические характеристики (предел прочности  $\sim 300$  ГПа, модуль Юнга  $\sim 1000$  ГПа) в сочетании с малой плотностью ( $\sim 1,8$  г/см<sup>3</sup>) и нанометровыми размерами позволяют рассматривать углеродные нанотрубки как перспективный армирующий компонент [1]. Начиная с 1997 года было опубликовано значительное количество статей по созданию композиционных материалов, содержащих углеродные нанотрубки. Из них преобладающее число составляют работы по введению УНТ в различные полимерные материалы [2]. Это объясняется, в частности, тем, что для формирования полимерных композиционных материалов требуются меньшие энергетические затраты. Создание композиций «металл – углеродные нанотрубки» с высокой удельной прочностью является интересной научной и технической задачей. При этом использование в качестве матрицы алюминия и его сплавов может привести к появлению нового, сверхлегкого и прочного конструкционного материала.

В данной работе формирование композиции «алюминий – УНТ» происходило путем аккумулятивной прокатки с последующим спеканием. Исходный материал матрицы представлял собой порошок технически чистого алюминия, полученный распылением расплава. Размер частиц порошка составлял 90...250 мкм. Многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) были синтезированы методом химического осаждения из газовой фазы. Наружный диаметр нанотрубок 20...150 нм, длина нанотрубок равнялась 5...15 мкм. На рис. 1 представлены изображения исходных материалов.

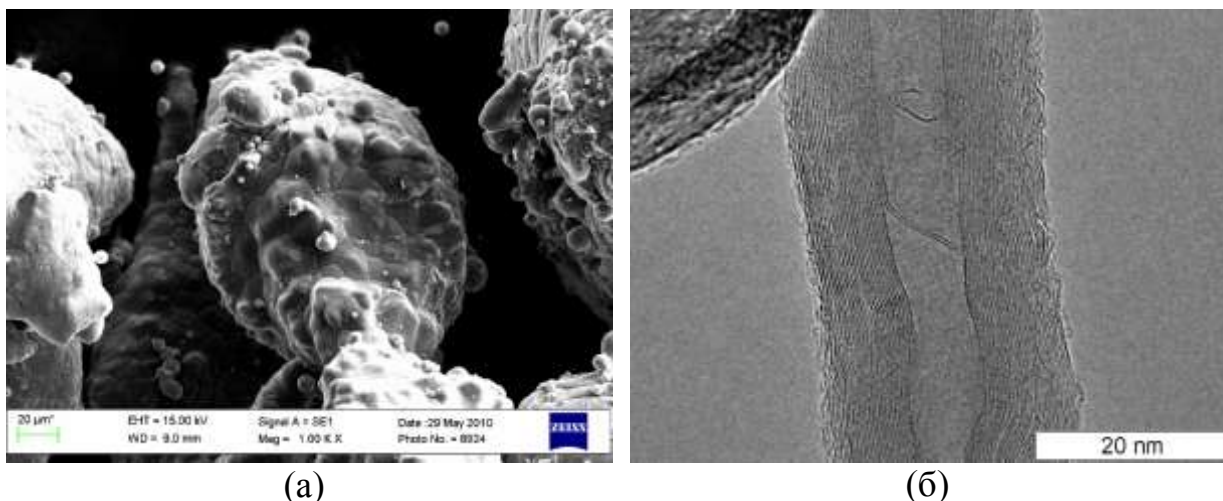


Рис. 1. Исходные материалы: (а) – порошок алюминия; (б) – многослойные углеродные нанотрубки.

Большая площадь поверхности обуславливает стремление углеродных нанотрубок к образованию компактных скоплений. В связи с этим перед введением в порошок алюминия проводили ультразвуковую обработку МУНТ в дистиллированной воде. Смешивание нанотрубок с порошком алюминия осуществляли в мельнице планетарного типа. Соотношение «масса порошка – масса шаров» равнялось 1:3. Время перемешивания составляло 1 час с частотой вращения планетарного диска 400 об/мин.

Полученную порошковую смесь помещали в медные трубки с наружным диаметром 10 мм и длиной 100 мм. Контейнеры нагревали до 400 °С и затем подвергали прокатке. Толщина пластин после прокатки составляла ~ 1,1 мм. С пластин удаляли медную оболочку, зачищали поверхность абразивной бумагой и обезжиривали. Из 8 пластин составляли пакет для формирования высокоплотного компакта последующей горячей прокаткой. Конечная толщина сформированных пластин ~ 1 мм. Компакты спекали в вакуумной электропечи при температуре 550 °С в течение 5 часов.

Из сформированных пластин композиционного материала «алюминий – углеродные нанотрубки» были подготовлены образцы нестандартной формы для испытаний на одноосное статическое растяжение. Содержание углеродных нанотрубок варьировалось в диапазоне 0...1 % вес. На представленном графике (рис. 2, а) можно наблюдать прирост предела прочности на 50...60 % относительно алюминия, не содержащего наночастицы углерода. Введение 0,5-1 % вес. углеродных нанотрубок приводит к падению прочности композиции ниже значений предела прочности исходного алюминия. Пластичность композиций с данным содержанием нанотрубок также минимальна (рис 2, б).

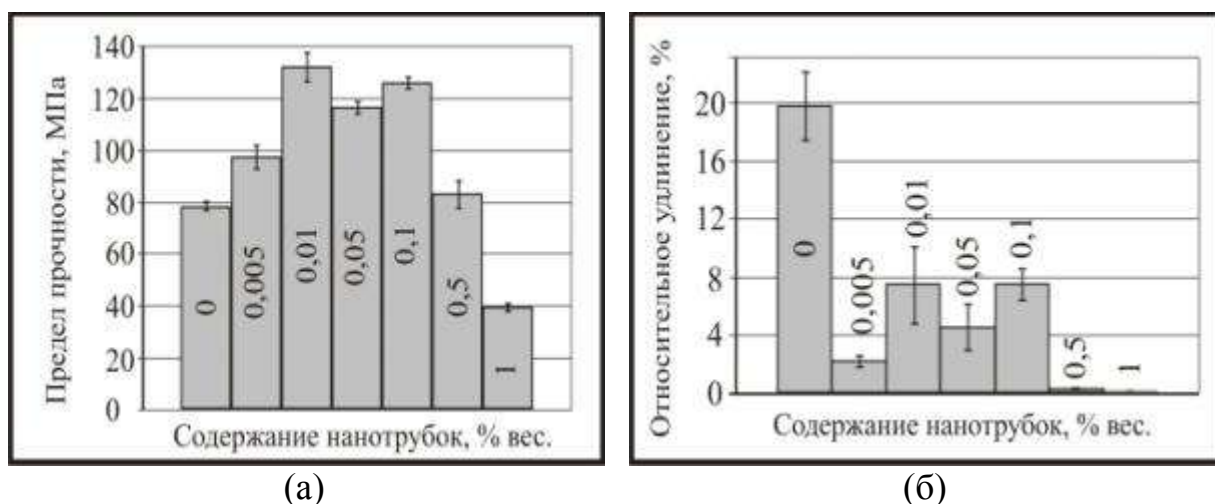


Рис. 2. Предел прочности (а) и относительное удлинение (б) композиций «алюминий – углеродные нанотрубки».

Поверхность разрушения алюминия, не содержащего наночастицы углерода, имеет вязкий характер, наблюдается значительная поперечная деформация образца. Границ между слоями не обнаружено, что позволяет говорить об образовании прочной связи между пластинами в процессе аккумулязированной прокатки и последующего спекания. Разрушение образцов с содержанием углеродных нанотрубок 0,5-1 % вес. происходит практически без пластического течения материала. На поверхности излома присутствуют множественные включения. Изучение включений с применением увеличения X20000 показало, что они представляют собой компактные скопления углеродных нанотрубок.

### Выводы

Введение небольшого количества углеродных нанотрубок (0,01...0,1 % вес.) привело к приросту предела прочности технически чистого алюминия на 50...60 %. Дальнейшее улучшение механических характеристик возможно при повышении эффективности методов введения наночастиц углерода в объем металлической матрицы.

### Список литературы

1. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены: Учебное пособие. – М.: Логос, 2006. – 376 с.
2. Agarwal A. Carbon nanotubes – reinforced metal matrix composites / A. Agarwal, S.R. Bakshi, D. Lahiri – CRC Press, 2010. – 325 p.